

TBM 試作用先進中性子増倍材の製作 仕様書

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
六ヶ所フュージョンエネルギー研究所
ブランケット研究開発部 増殖機能材料開発グループ

1 一般仕様

1.1. 件名

TBM 試作用先進中性子増倍材の製作

1.2. 目的

国際熱核融合実験炉(以下「イーター」という。)にて核融合炉ブランケットの実証試験を行うために国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構(以下「QST」という。)が開発を進めているテストブランケットモジュール(以下「TBM」という。)において、製作性向上に向け、テストブランケットシステム(以下「TBS」という)の試作を行う計画である。本仕様は、TBS 試作において、TBM (図 1 右) が内蔵する中性子増倍材としての、ベリライドブロックを製造するためのベリライドブロック製作プロセスについて試作を通じて検討し、調達コストに資する作業について定めたものである。

受注者は対象の特性を十分理解の上、受注者の責任において計画を立案し、本作業を実施するものとする。

1.3. 契約範囲

本契約はベリライド試験品の製作にあたり、以下の作業を行うものとする。

- 1) 混合粉末製作
- 2) 単相化処理
- 3) 破碎・粉砕処理
- 4) 大型プラズマ焼結装置によるベリライドブロックの焼結試験
- 5) 加工・研磨
- 6) 性状確認試験

1.4. 支給品

支給に際して発生する引渡費用に関しては、受注者の費用負担及び責任で対応すること。

- 1) 最大 70kg 以内の Be powder, 30 kg 以内の Ti powder を受注者に支給する。
マテリオン製 Be : 99.2%以上、-325 mesh、Uranium : Max30ppm,
高純度化学製 Ti : 99.9%以上、< 45 um
- 2) 混合粉末製作及びベリライド単相化粉末の分析に必要な消耗品類 (アルゴンガス等)
- 3) ベリライドブロック焼結・加工・研磨作業時に必要となる消耗品類 (アルゴンガス、脱酸材、研磨紙等)
- 4) ベリリウム製造室に入室及び作業する際の消耗品類 (タイベックスーツ、手袋、防塵マスク等)

1.5. 貸与品

- 1) 混合粉末製作に必要な機材(電気炉、粉砕機、グラインダー等)
- 2) ブロック焼結や加工に必要な機材 (大型プラズマ焼結装置、ワイヤー放電加工機等)

- 3) 混合粉末製作及びブロック焼結・加工時に必要となる備品（粉末合成用るつぼ、グラフィット製パンチとダイ、加工備品等）
- 4) ベリライド単相化粉末の分析に必要な機材（XRD 分析装置、ICP 分析装置、前処理装置等）
- 5) ベリリウム製造室に入室及び作業する際の備品類（作業靴等）
- 6) 試作品の模式図（寸法など記載した物）

➤ 作業場所

QST 六ヶ所研フュージョンエネルギー研究所、

ブランケット工学試験棟 実験室 F・G

※1.12 項の規定を遵守するものとする。

1.6. 納入物

- 1) 指定寸法のベリライド試作品（6 本分、分かれた形で可）
- 2) 表 1 に示す図書を指定時期に指定部数、1.8 項の納入場所に納入すること。
- 3) 提出図書は指定部数の冊子体の他に電子版を提出すること。表 1 に示す図書及び最終的に採用した設計データファイルを格納した電子媒体も提出すること。電子版のファイル形式は QST と受注者協議の上、決定するものとする。

表 1 提出図書

図書名称	印刷物 提出部数	提出時期	確認	識別 記号
再委託承諾願	1	契約後速やかに（下請がある場合のみ）	要	-
品質計画書（Quality plan）	1	契約後及び変更の都度速やかに	要	PL
作業体制表(1.10.2 項参照)	1	契約後 2 週間以内及び更新の都度	要	PL
作業要領書	1	契約後速やかに	要	WP
工程表(1.15 項及び 0 項参照)	1	契約後 2 週間以内、更新の都度、及び令和 8 年度支払い前	要	WS
作業報告書（0 項参照）*1	1	製作開始前、及び令和 8 年度支払い前	要	PR
試験検査要領書	1	試験検査開始前	要	NP
試験検査成績書（1.10.4 項参照）	1	納入時	要	IR
打合せ議事録（1.16 項参照）	1	打合せ後 2 週間以内	要	MI
質問書	1	協議すべき技術課題が生じた場合直ちに	不要	NO
不適合の報告*2	1	報告すべき事項が生じた場合直ちに	要	NR
逸脱許可*3	1	許可を要求する必要が生じたとき	要	DR
製作報告書	1	納入時	要	MR

*1 作業報告書に記載すべき項目は、第 2 章の技術仕様を示す。

*2 不適合の報告とは、本契約に関する品質保証及び技術仕様の不適合が生じた場合の報告であり、報告すべき事項が生じた場合は直ちに報告すること。

*3 逸脱許可とは、本契約の遂行に関し品質保証の規定を逸脱することが必要と受注者が判断した場合にあらかじめ申請し、許可を得るものであり、QST の確認前に逸脱してはならない。要確認図書の確認方法は以下とする。QST は、確認のために提出された図書を受領したときは、期限日を記載した受領印を押印して返却する。また、当該期限までに審査を完了し、受理しない場合には修正を指示する。修正等を指示せず受理する場合、その旨通知するか当該期限をもって受理したものとする。この確認は、確認が必要な図書 1 部をもって行うものとする。ただし、再委託承諾願(QST 指定様式)については、QST が確認後、文書にて回答するものとする。

1.7. 納期及び納入条件

令和 1 0 年 3 月 3 1 日 持込渡し

1.8. 納入場所

青森県上北郡六ヶ所村大字尾駸字表館 2 番地 166

QST 六ヶ所フュージョンエネルギー研究所 ブランケット工学試験棟 指定箇所

1.9. 検査条件

1.8 に示す納入場所に納入物を納入して内容や仕様の確認及び報告書の記載内容が第 2 章に定める技術仕様を満足していることの確認をもって検査合格とする。

1.10. 品質保証

1.10.1. 一般事項

品質保証については別紙-1「イーター調達取決めに係る調達契約の品質保証に関する特約条項」に準ずるものとする。なお、別紙-1 において甲は QST、乙は受注者を指すものとする。品質分類のクラスによる要求事項は表 2 の通りとする。作業対象機器である TBM の品質クラスはクラス 1 (QC1) である (表 3 参照)。なお、1.5 貸与品の機材装置や備品類に対する品質保証は対象外とする。

表 2 品質クラスに応じた要求項目

適用される 品質分類(1)	クラス 1	クラス 2		クラス 3	
適用される安全重要度分類	SIC-1 / SIC-2 / SR / NSR	SIC-2	SR / NSR	SR	NSR
設計	設計レビューと独立検証(2)を含む設計 管理		設計レビューと検証を含む設計 管理		当事者間の別の合意が無い場合、設計レビューは不要
ソフトウェア	ライフサイクル管理を含む設計、運転に		使用するソフトウェアの同定と		別の合意が無

	使用するソフトウェアの許容		妥当性確認	い場合、特に 要求はない
納入される最低限の文書及び記録	品質計画，製作及び検査計画，要領書，計算ノート（設計が含まれる場合），作業手順書，特殊工程の品質（適用される場合），作業員の能力，構造仕様の場合の図面，リリースノート，適合性の認定，EN 10204 Type 3.1（又は同等）に基づく部品や装置にトレース可能な材料認証及び検査図書		品質計画，製作及び検査計画，リリースノート，構造仕様の場合の図面，EN 10204 Type 3.1（又は同等の基準）に基づく部品や装置にトレース可能な材料認証及び検査図書	EN 10204 Type 2.1（又は同等の基準）に基づく適合性の認定，
実施者の監視	品質及び監視を含む実施者の監査		サイト内でのレビューに限定	当事者間の別の合意が無い場合、監視は不要
測定及び検査装置	校正された測定及び検査装置(M&TE)の管理			妥当性確認のための校正された M&TE の管理
溶接の最低限の非破壊検査 (N.D.E.)(3-4)	100%の目視、表面及び体積検査	100%の目視及び表面検査、20%の体積検査	100%の目視、10%の表面及び体積検査	
特殊工程 要員の能力及び訓練(溶接、ブレイジング、N.D.E.)	文書化された要員の能力及び訓練			
品質保証(QA) 要求事項	QA 代表者の特殊工程及び検査に関連する文書の承認	QA 代表者による特殊工程と検査についての協議		必要に応じて QA 代表者の協議

1. クラス 4 のシステム及び機器は特段の QA 要求事項はない。
2. ‘独立’ とは、基の設計者に含まれない個人、グループ、部署、部門を意味する。‘独立’はまた第三者機関を指してもよい。
3. 要求された体積検査が適用できない溶接においては、適用される技術仕様の性能検査及び試験の要求事項に対する証明を作成すること。
4. 溶接された恒久的な吊り上げ部材は、吊り上げの前後で 100% の N.D.E.検査を実施すること。

表 3 作業対象の品質クラス等（最大）

	TBM-set	WCS	TES	NAS
欧州・フランス規制				
機器数(配管除く)	2	206	272	46
圧力カテゴリ*	IV	IV	IV	III
核レベル	N2	N2	N3	非核圧力容器規制
ITER 機構分類				
安全クラス	NSR*1 SIC-1*2	SIC-1	SIC-1	SIC-2
品質クラス	QC1	QC1	QC1	QC2
耐震クラス	SC1(SF)	SC1(SF)	SC1(S)	SC1(S)
トリチウムクラス	N/A	TC2A	TC1B	TC2A
真空クラス	VQC1A	N/A	N/A	N/A
遠隔操作クラス	RH1	RH1	N/A	N/A
資産保全クラス	Cat 2	Cat 2	Cat 2	Cat 2

*数字が大きいほどリスクが高い。他のレベル・クラスは数字が小さいほどリスクが高い。

*1:TBM、*2:TBM シールド。

1.10.2. 品質計画書の作成

- 1) 受注者は本契約の履行に当たり、受注者が適用する品質計画書を作成し、関連する作業着手前に QST の確認を得ること。QST が指定する品質計画書の様式に則って、必要事項を記載すること。
- 2) 本件契約に関わる要員が満たすべき資格と力量を有していることが示された作業体制を品質計画書に記載し、QST の確認を得ること。

1.10.3. 監査

- 1) 必要に応じて受注者の品質保証に係る監査を行う。ただし、ISO9001 未認証の受注者に対しては、契約後、速やかに行う。
- 2) 必要と判断した場合、再度監査を実施する。
- 3) 2 回目以降の監査では、対象分野を限定して実施する。
- 4) 受注者が品質に係る重要業務をアウトソースする場合は、必要に応じて当該業務のアウトソース先の業務の実施状況の確認も本監査に含むことができるものとする。
- 5) 監査の時期及び実施する範囲は、監査を実施する少なくとも 14 日より前に受注者に通知されるものとする。

1.10.4. ホールドポイント

品質保証の一環として、ホールドポイント(以下「HP」という。)を設ける。HP では、受注者は作業を停止し、後続タスクの開始前に QST に HP の解除を求めなければならない。ATPP は、

作業進行の確認を以て解除となる。QST は当該 HP/ATPP に関して、受注者から適切な文書を全て受領した日から 14 暦日以内に、受注者に対して、HP/ATPP の解除の是非を判断するものとする。本件における HP/ATPP を表 4 に示す。

表 4 HP/ATPP

番号	HP/ATPP	後続タスク	解除の条件
1	品質計画書作成	作業開始	品質計画書の確認
2	単相化熱処理後粉末の性状 確認試験成績書の提出	ベリライドブロックの焼結試験	単相化熱処理後粉末の性状確認試験結果の確認
3	ベリライドブロックの焼結 試験結果の提出	次の焼結試験実施	ベリライドブロックの焼結試験結果の確認(ATTP)
4	ワイヤ放電加工・旋盤加工 結果の提出	表面研磨	ワイヤ放電加工・旋盤加工結果の確認(ATTP)
5	ベリライドブロックの性状 確認試験成績書の提出	最終報告書作成	性状確認試験成績書の確認

上記表 4 HP/ATPP では、試験結果及び試験進捗を QST へ報告することを以って、解除とする。

1.11. 保証

- 1) 第2章の技術仕様に定める仕様及び機能要求を満足すること。
- 2) 納入品に不具合が生じ、それが受注者の責でない場合も、問題解決のための協議へ積極的に参加し、情報の照会には可能な限り対応すること。

1.12. 適用規格及び基準

各種設計に当たっては、製作、据付調整、運転の各段階において、以下の法令等を遵守した作業を実施可能とすること。

- 1) 労働安全衛生法
- 2) 特定化学物質等障害予防規則
- 3) 日本産業規格 (JIS)
- 4) 六ヶ所フュージョンエネルギー研究所安全管理規則
- 5) 六ヶ所フュージョンエネルギー研究所諸規程
- 6) その他受注業務に関し、適用又は準用すべき全ての関係法令・基準等

1.13. 産業財産権、技術情報及び成果公開等の取り扱い

産業財産権の取扱いについては、別紙-2「知的財産権特約条項」に定められたとおりとする。ただし、秘密保持について、イーター機構が原子力事業者としての義務を果たすために、その安全性、品質保証、信頼性のための目的で情報及び知的財産の伝達を要求した場合、QST に

より当該情報及び知的財産をイーター機構に伝達するものとする。当該情報及び知的財産の伝達について、QST は実施した日から 1 か月以内に受注者に通知する。伝達された情報及び知的財産が秘密なものであって、イーター協定と情報及び知的財産に関する附属書に従って秘密を保持し続けられなくてはならない場合、QST はその旨をイーター機構に通知するものとする。

1.14. グリーン購入法の推進

- 1) 本契約において、グリーン購入法(国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律)に適用する環境物品(事務用品、OA機器等)が発生する場合は、これを採用するものとする。
- 2) 本仕様に定める提出図書(納入印刷物)については、グリーン購入法の基本方針に定める「紙類」の基準を満たしたものであること。

1.15. 工程管理

- 1) 本件の履行に当たり、作業の工程表を作成する。提出図書の提出日及び確認までに必要な最大日数も記載すること。工程表のファイル形式は QST と受注者が協議の上、決定するものとする。工程表を変更する必要がある場合は、改訂版を提出し、QST の確認を得ること。工程の遅延が発生する可能性があると受注者が判断した場合は、直ちに QST に報告し、遅延を解消するための対策を提案すること。
- 2) 本件の作業に関わる要員が満たすべき資格と力量を有していることが明記された作業体制表を作成し、QST の確認を得ること。

1.16. 協議

本仕様書に記載されている事項及び本仕様書に記載のない事項について疑義が生じた場合は、QSTと協議の上、その決定に従うものとする。

打合せの実施に当たっては、以下の要領に従うものとする。

- 1) QST と受注者は、常に緊密な連絡を保ち、本仕様書の解釈及び製作に万全を期すものとする。必要に応じ、テレビ会議又は対面で打合せを行うものとする。
- 2) 打合せをした場合、打合せ後 2 週間以内に受注者は打合せ議事録を作成し、QST に提出する。確認の方法は、1.6 項に従うものとする。
- 3) アクションリストを作成し管理すること。打合せごとにアクションリストを更新すること。アクションリストは打合せ議事録と合わせて提出すること。
- 4) 打合せ議事録を含む技術的な連絡は文書(技術連絡シート)をもって行うものとする。
- 5) 受注者は QST からの質問事項に対しては速やかに回答すること。回答は書面によることを原則とし、急を要する場合については、あらかじめ口頭で了承を得て、1 週間以内に正式に書面を提出し、QST の確認を得ること。所定期日以内に回答書面の提出がない場合は、QST の解釈を優先する。

2. 技術仕様

TBM 試作用先進中性子増倍材の製作

TBS（図）試作における、TBM のサブモジュール（図.1）には、中性子増倍材として、ベリライドブロックを装荷する設計案になっている。今回は、大型ベリライドの製作性やフィジビリティ評価を実施するため、6 本の実機規模のベリライドブロックを試作する。ベリライドブロックの寸法の詳細については、QST と協議の上、決定する。図 2 に示すサブモジュール案の寸法を持つベリライドブロックを試作するため、下記の図 3 で示す従来の参考プロセスに基づく。

製作作業では特定化学物質を取り扱うため、六ヶ所研究所内の実験室 F および G において作業を行う。

（※以下の案につきまして、設計（案）の変更、プロセスの更新・効率化が発生した際には更新するたびに速やか協議の上、提出する。）

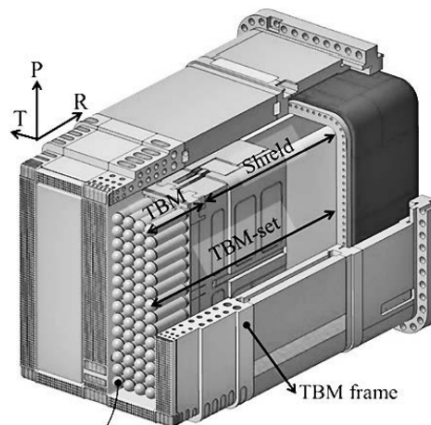


図 1 . TBS 模式図（案）

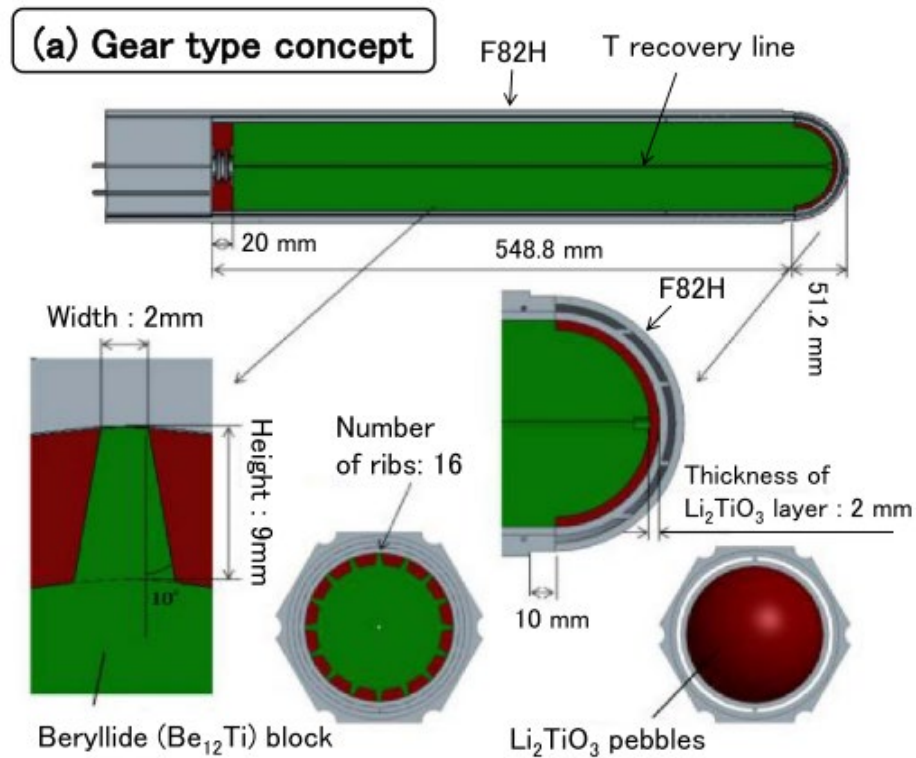


図2. TBMサブモジュール案の模式図（※参考論文：S.Youji et al., Nucl. Fusion 64 (2024) 046025）

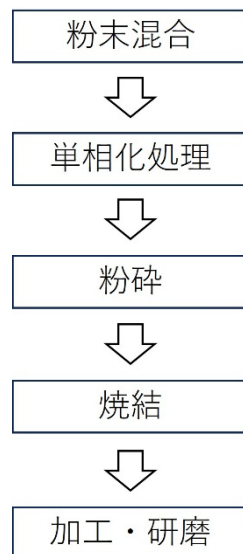


図 3. 従来の参考ベリライドブロック試作プロセス

2.1 混合粉末製作

支給品である Be 粉末と Ti 粉末を Be_{12}Ti の化学量論値になるように調整し、モルタグラインダー（貸与品）で 1 時間混合する。

2.2 単相化処理

混合粉末を坩堝（貸与品）に装荷する。その際に脱酸材（Zr フィルム、支給品）を一緒装荷し、蓋を閉め、雰囲気制御炉（貸与品）にて単相化熱処理を実施する。熱処理条件は下記とする。

単相化熱処理条件：

雰囲気：Ar ガスフロー（500ml/分）、温度：1200 °C、昇温速度：10 °C/min、保持時間：24 時間

（終夜運転の場合、Web カメラ等による監視・監督・対応を行うこと）

2.3 破碎・粉砕

1) 単相化処理されたベリライド塊をジョークラッシャー（貸与品）で、破碎作業を行い、その後、モルタグラインダー（貸与品）で1 時間粉砕し、粉末化作業を行う。得られた粉末をベリライドブロック焼結の原料粉末とする。

2) 上記、ベリライド原料粉末の化学組成評価と粒度分布を調査し、QST に報告する。

2.4 大型プラズマ焼結装置によるベリライドブロックの焼結

1) 2.3項で、調整したベリライド単相 (Be_{12}Ti) 原料粉末を用いて、QST内にある大型プラズマ焼結装置を利用し、以下の図.4の寸法にて焼結を行う。焼結条件の詳細については、QSTと協議の上、決定する。

2) 焼結に必要な準備作業、型に粉末を詰める作業、焼結後に型から焼結体を取り外す作業などを実施する。

3) 使用した型を保守・校正しながら、焼結作業を実施すること。

2.5 加工・研磨

1) 焼結後のブロック（図5）を②～④の形状へ加工を行う。加工の公差は $\pm 0.1\text{mm}$ にすること。

2) 加工後の焼結体の表面研磨を研磨紙（ $\sim \text{P}2400$ ）で実施し、目標値の表面粗さ $7\mu\text{m}$ 以下までにて実施する。詳細についてはQSTと協議の上、決定する。

※参考 SiC Abrasive Grade(P2400、 $10\mu\text{m}$ 、P4000、 $5\mu\text{m}$)

3) 試作ベリライドブロックの員数は、⑤の形のブロックを6個とする。

4) 図4の④まで加工が終了時、得られる加工後の残り（残材）は破碎し、粉末の形に成形にすること。そのサイズの詳細については、QSTと協議の上、決定する。

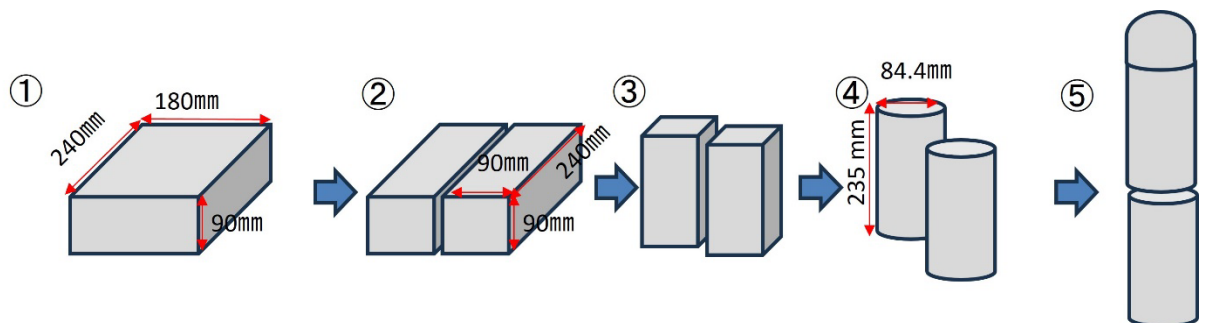


図4. 大型ベリライドブロック試作の参考フロー図（案）

2.6 性状確認試験

1) 粉末の粒度分布、成分分析

Be₁₂Ti 単相化した原料粉末に対して、XRD 分析での組成評価、粒度分布計での粒度分布評価、ICP 分析での Be/Ti 比、その他微量分析での不純物分析（成分分析 21 元素）評価の結果を報告すること。

(Be、C、O、Mg、Al、Si、Ca、Ti、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Zr、Mo、Ag、Pb、U、V)

2) ベリライドブロックの外観写真、焼結密度を測定すること。

試作したベリライドブロックの外観写真を撮影し、寸法と重量からの密度を評価する。また、焼結体の一部（QST 指定の 6 カ所）を採集し、He ピクノメーターおよびアルキメデス法による焼結体の均一性の評価を実施する。更に、焼結体の不純物分析評価を実施し、その結果を報告すること。(Be、C、O、Mg、Al、Si、Ca、Ti、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Zr、Mo、Ag、Pb、U、V)

3) その他、必要な確認試験については、QST と協議の上、決定する。

4) 2.5 項で得られた破碎粉末については、XRD、ICP 分析装置、粒度分布測定装置を持って、化学組成分析と粒度分布測定を行うこと。

上記性状確認試験における目標値は以下のとおりである。

- ・単相化粉末の組成評価：単相の Be₁₂Ti 粉末であること
- ・単相化粉末の粒度分布：平均粒径が 30 μm 以下であること。
- ・単相化粉末の Be/Ti 比：12/1（±10%未満）であること
- ・ベリライドブロックの密度：2.288 g/cm³ [*]（±1% 未満）であること。

* G.V. Samsonov, I.M. Vinitskii, Handbook of refractory compounds, Ifi/Plenum, New York, 1980.

以 上